

**Transcription partielle du film "Way Beyond" réalisé par Pauline Julier, produit par Joëlle Bertossa et Flavia Zanon, Close Up Films**  
c/o Close Up Films, 2020, tel que visionné par JBB en février 2024 sous:

<https://www.rts.ch/play/tv/sur-les-docs-visions-du-reel/video/way-beyond-bien-au-dela?urn=urn:rts:video:14677581>

Tiré du générique final: "La plupart des discussions figurant dans ce film ont été filmées lors de deux des réunions des l'IAC" dont j'ignore la date.

L'IAC, Comité consultatif international (International Advisory Committee) est composé d'experts internationaux ne participant pas directement à l'étude (<https://fcc.web.cern.ch/international-advisory-committee>). Ils échangent dans cette vidéo avec des gens du CERN directement impliqués. Les opinions exprimées ne reflètent pas nécessairement celles de la collaboration FCC ou celles du CERN.

La discussion porte entre autres sur les *Conceptual Design Reports* (premier rapports, 4 épais volumes publiés en 2019) le choix de l'accélérateur, le coût et la manière de s'assurer le soutien du public et des politiciens.

J'insiste sur le fait que les images choisies par la réalisatrice ne rendent pas compte de l'ensemble de la réunion, réunion dont nous n'avons pas le procès-verbal, ignorons les décisions et dont une partie du contexte nous échappe. Prenons donc ces extraits avec prudence. Ils n'en restent pas moins révélateurs des hésitations, des réticences des uns, des calculs ou de l'aventurisme des certains autres.

A-t-il été question de l'impact du projet sur le climat lors de ces échanges ou d'autres séances de ce niveau? Pas à mon savoir. Si c'est le cas, le CERN rendrait service à tout le monde en produisant des images ou des procès-verbaux montrant comment il a abordé la question.

La consommation d'électricité, elle, a certainement été discutée plus à fond, ne serait-ce que parce qu'elle fait l'objet d'une facture. Facture qui s'élevait il y a peu à CHF 80 mios par an. Le FCC-ee et l'augmentation du prix du courant la multiplierait au moins par deux. Le FCC-hh par trois, quatre, cinq...? Comment risquer des prévisions à l'horizon 2060? A part qu'il fera plus chaud!

-----  
03:13

1 => **Comité consultatif international IAC et représentants du CERN**

03:50

?: J'ai été chargé de vous présenter les arguments de la physique pour le Futur Collisionneur Circulaire. Je ferai donc une synthèse des idées pour une prochaine étape. Bien sûr le siècle dernier a permis de peler les différentes couches de la nature jusqu'à son niveau fondamental. La dernière couche est celle de l'interaction électrofaible... qu'est le boson de Higgs au LHC. La question maintenant est "Quelle est l'étape suivante?". Pourquoi faire de la physique de précision? Parce qu'elle permet d'accéder aux plus petites échelles de la Nature. On veut accéder à des échelles plus petites que celles de la taille du boson de Higgs. Une façon de le faire avec le FCC-ee, c'est de sonder l'existence de nouveaux opérateurs au-delà du modèle standard. Si l'on observe un écart de l'ordre du pourcentage ou du sous-pourcentage, cela indique qu'il y a une nouvelle physique au moins au degré où vous arrivez avec ces échelles d'énergies. En résumé, les arguments de vente du FCC du point de vue de la physique: L'éventail des découvertes possibles couvre de nombreux domaines: la matière noire, les interactions faibles et la physique des saveurs. Il y aurait beaucoup à faire en physique des saveurs. Il y a une forte complémentarité avec d'autres futurs collisionneurs pour maximiser l'impact des installations. Et je m'arrête là.

? (Off): Questions?

05:30

AA: Est-il garanti que le FCC est la meilleure option, comparé à d'autres machines comme ILC, CLIC 380, voire une usine de Higgs aux muons... pour mettre fin à ce fantasme. Des analyses ont-elles été faites pour comparer ces différentes options qui permettraient de conclure que le FCC est la meilleure machine ou la plus prometteuse. En termes de résultats?

06:04

? (Off): Je ne connais aucun document officiel qui fasse la comparaison, mais des comparaisons informelles ont été faites.

06:09

AA: Les machines ont des paramètres, des luminosités, des énergies, des rayonnements différents, etc.

06:18

BB: Pour faire court, la réponse est oui. Cela permet le meilleur accès aux frontières des hautes énergies. Pour de simples raisons de statistiques.

06:25

AA: Y a-t-il une publication officielle?

06:27

BB: Oui, bien sûr!

06:30

AA: Elle figurera dans le volume qui traite de physique? [CDR, vol. 1]

06:34

BB: Euh... Nous voulons une comparaison dans le CDR

06:38

?: Je n'en suis pas certain. Nous discuterons en détail du CDR demain, mais comme les auteurs sont ici, je me permets de faire un commentaire, une suggestion pour la version finale de l'Introduction à la physique. C'est très bien écrit et très complet, mais je préférerais qu'on évite autant que possible l'emploi de certains adjectifs dans certaines descriptions comme "le plus ambitieux", "confirmation magnifique" ou "physique extraordinaire". Ce n'est pas un prospectus de vente, c'est un rapport. Retirer certains adjectifs ne réduira pas l'importance du texte.

10:51

## 2 => Présentation de C

CC: Voici ce qui se passe pour les photons. et ici pour les électrons. Vous pouvez voir, je fais mes mesures ici. Gauche, droite, gauche, droite... Vous voyez que l'électron... l'asymétrie est beaucoup plus visible que le mouvement très léger de ce photon. Donc il faudrait améliorer d'un facteur 10. Ces mesures de la masse de Z seront un effort conjugué entre les gens de l'accélérateur, les expérimentateurs et les théoriciens. On prévoit le contrôle des faisceaux dans la machine pour effectuer ce calibrage en continu, de l'ordre de 4 ou 5 fois par heure, soit une centaine de mesures par jour. Merci.

11:54

?: C'est intéressant de se demander sur quelle question notre communauté peut se mettre d'accord. Car il faudra expliquer au monde extérieur quelque chose de simple et grand pour obtenir un tel financement. Et à partir de là, quel collisionneur choisir? Nous ignorons l'avenir proche... Peut-être découvrirons-nous de la nouvelle physique, mais admettons que non. On peut se demander alors "De quoi avons-nous besoin pour l'établir avec précision?". Faut-il un collisionneur de 100 TeV? Ou 60 sont suffisants? Comment notre communauté peut-elle répondre à cette question? En confirmant que le modèle standard explique le fonctionnement de l'Univers... Mais peut-être qu'on n'ose pas se poser la question parce qu'on est trop habitués au modèle standard comme modèle de référence.

12:38

CC: Questions de taille. Qu'est-ce que la matière noire? Comment les neutrinos prennent-ils de la masse? Pourquoi l'Univers est-il fait de baryons et pas seulement de radiation? Ces questions sont démontrées expérimentalement, ce sont de simples questions. Maintenant... les 5% avec un point d'interrogation dans le tableau représente le peu que nous savons à ce jour.

14:14

## 3 => Comité consultatif international IAC et représentants du CERN

BB: Attendons 2026. Pourquoi décider en 2020? Regardons dans le passé si cela peut nous servir d'indicateur. Le protocole de collaboration pour les détecteurs du LHC a été scellé en 1992 à Evian. Le LHC a été approuvé par le Conseil en 1996 et mis en service en 2010. Il a fallu 19 ans pour que les détecteurs soient prêts. Pour le FCC-ee, les détecteurs pourraient être plus simples à construire car ils n'ont pas à résister à des radiations importantes. Mais ils sont plus complexes en termes de précision. Nous ne visons pas une précision de 1/1000 mais de 1/100'000. Je dirais que 15 ans pour concevoir et construire les détecteurs du FCC, ce n'est pas trop. Maintenant, et Dieu nous en garde, si aucune décision n'est prise en 2020, les efforts continueront d'être dispersés entre les 5 concurrents. Peut-être plus. Cela sera décourageant pour tous les projets. Continuons sur notre élan afin de renforcer le désir de la communauté de faire du neuf après le LHC. Mais n'allons pas trop vite, vous êtes les patrons. Vos conseils à la direction du FCC feront la différence. Ne vous trompez pas. Ce n'est qu'une suggestion, bien sûr. La conception technique du FCC-ee et de ses détecteurs doit être structurée sans plus tarder. Voilà pour ma part.

?: Merci Patrick. Je pense que nous sommes tous d'accord que des conseils clairs valent mieux que des conseils confus. Une discussion me paraît inutile Gregor?

16:11

DD: Je comprends votre position, il faut une décision. Soit. Mais vous disiez aussi au début ne pas être assez nombreux pour faire des études détaillées, etc. Mais vous voulez qu'on détermine la meilleure option parmi les cinq existantes. Pour les autres options, il y a eu beaucoup d'études, des études détaillées. Alors comment pensez-vous préparer un *Conceptual Design Report* qui permettrait de dire: "Vous voyez, c'est un cas convaincant par rapport aux autres" qui sont probablement plus détaillés. Mais à un moment donné, il faut qu'on puisse arrêter la décision et dire "Oui, on choisit ce projet même s'il faut plus de temps pour le réaliser. Il est tellement mieux, tellement plus prometteur, et les chiffres sont fiables. Allons-y!".

17:10

BB: Bien sûr il faut évaluer les possibilités de la physique et évaluer l'accès à la physique des hautes énergies que cela permet. Donc c'est à vous de nous dire ce qui est le mieux. Mon opinion et faite. Notre point de vue est très clair.

17:26

DD: Pour le *Conceptual Design Report*, je pense qu'on devrait mettre en avant les faits concernant le projet. Parce que là, vous parlez de politique. Cela vient après, à mon sens. Mais pour le CDR, il faut établir un document où figurent tous les aspects positifs du projet, avec des chiffres raisonnables, sur la précision, la résolution, toutes les performances qu'on peut atteindre. Le reste viendra plus tard, c'est mon sentiment. Ce n'est pas à nous de prendre une décision politique. Cela relève de la stratégie, mais maintenant, nous parlons du CDR.

18:03

BB: Nous avons montré que le programme de physique était faisable. Nous ne pouvons pas aller beaucoup plus loin avec les temps impartis et la taille de nos équipes.

21:21

**EE:** Nous discutons de ce qu'on appelle un CDR, *Conceptual Design Report*. Est-il bon de parler d'un CDR à ce stade? Parce que, dans quelques années, dix ans, il faudrait se préparer pour le vrai Conceptual Design. Dans ce cas, comment l'appelle-t-on? Conceptual Design 1, Conceptual Design 2? Ou étape 1, étape 2? Et quand on parle de CDR, au minimum la technologie doit être prête.

21:56

**FF:** Et si ça ne fonctionne pas sur le papier, il y a peu de chance que cela fonctionne en réalité. Je pense qu'on devrait être..., je ne veux pas dire très optimistes, mais au moins avoir l'ambition de réussir si on veut s'offrir un tel projet... Je pense qu'aujourd'hui nous avons un vrai... je crois qu'il y a un réel espoir d'obtenir dans les prochaines années un meilleur conducteur que celui d'aujourd'hui.

22:29

**GG:** Je pense que la question que vous soulevez est celle de la crédibilité du the CDR. Et je pense que le CDR doit être cohérent et suffisamment crédible. Peu importe ce que cela signifie. Et je pense que le CDR doit être cohérent (self-consistant).

22:40

**FF:** Je vous de croire que nous pouvons montrer avec le CDR, après ces nombreuses années que dure le projet, l'hypothèse que les conducteurs dans 20 ans, voire dans 10 ans, seront meilleurs qu'aujourd'hui. Car si on commence à envisager de présenter un CDR avec les conducteurs d'aujourd'hui, on ne construira jamais la machine. Personnellement, je crois que les chiffres avancés ils sont crédibles, mais c'est mon opinion. Maintenant, vous êtes chacun ici expert dans votre domaine et vous ferez vos remarques sur la question. Voilà la situation d'aujourd'hui.

23:34

**HH:** Davide, on a demandé ça il y a un an et je n'ai encore rien vu. Que coûtent les matières premières? C'est un chiffre actuel et, à moins d'avoir une boule de cristal, pour prédire le prix des matières premières dans 10 ou 20 ans, il ne va trop bouger [semble vouloir dire qu'il ne baissera pas ?]. C'est la référence. Vous ne pouvez pas... même en comptant le travail gratuitement, cela ne réduira pas le coût des câbles..

24:01

**II:** Un commentaire: Si mes calculs sont bons, la valeur des câbles que vous voulez acheter est de plus de 10 milliards d'euros. Au prix actuel.

24:14

**FF:** Je pense que le projet ne devrait pas tolérer de payer pour les conducteurs plus de dix fois le prix des matières premières. Et aujourd'hui on paye vingt fois plus. Là, il y a un problème. Si une communauté scientifique n'est pas capable d'impulser la fabrication industrielle de conducteurs de manière que le coût total des conducteurs ne dépasse pas cinq à six fois le coût des matières premières, ça signifie que nous ne méritons pas de faire ce projet. Mais cela n'engage que moi.

26:26

**4 => Conférence... Où? Quand?**

**Fabiola Gianotti:** Ce workshop est crucial car il a lieu à un moment très critique. La mise à jour de la Stratégie européenne pour la physique des particules approche. C'est la dernière occasion de participer au processus en tant que physiciens, ingénieurs et scientifiques. Nous savons que les questions ouvertes en physique des particules sont extrêmement captivantes, cruciales et difficiles. Ces questions plaident pour une nouvelle physique, elle crient "nouvelle physique". Je les entends nous interpeller... la nouvelle physique est là, mais nous ne savons pas où. En termes d'échelles d'énergies, et de correspondance entre cette nouvelle physique et le Modèle standard que nous connaissons. Je vous encourage donc à démontrer que les futures collisionneurs circulaires sont machines efficaces pour faire de la merveilleuse physique, que les technologies développées pour les réaliser auront un énorme impact sur la société; et que en poussant la recherche et le développement, nous pouvons les rendre abordables techniquement et financièrement. Honnêtement, je ne vois pas de meilleur endroit au monde que le CERN pour accueillir les futures collisionneurs circulaires.

33:23

**5 => Comité consultatif international IAC et représentants du CERN**

**JJ:** Il y a une question sur les failles. On a examiné toutes les données disponibles sur les failles le long de la position du FCC. Les failles principales. On a aussi travaillé étroitement avec des géologues locaux, et leur point de vue sur le creusement du tunnel ... la vitesse du taux d'excavation dans la bonne roche est en moyenne de 16 mètres par jour. Ce qui est plutôt conservateur. Mais cela prend en compte la maintenance, les pannes, les changements de mode. On est assez confiants. Cela a été inclus pour l'excavation par tunnelier sous le lac. On a anticipé que la progression sera lente. Mais c'est difficile d'avoir un planning adaptable aux différentes géologies. Le design des cavernes... il y avait des questions sur la faisabilité des cavernes. Car au moment de la construction du LHC, la caverne ATLAS était la plus grande du monde dans ce type de sol. Et on va encore plus loin avec celle du FCC La question suivante porte sur l'évacuation des déchets et ce qu'on va faire avec les 9 à 10 millions de m3 de déchets. On a mis en place une étude dans l'intention de trouver un processus pour réutiliser les matériaux excavés. La question 6, Evaluation de l'impact environnemental. Le résultat de cette étude initiale est que le placement dans la région est faisable, mais pas exactement dans sa position actuelle. Nous devons optimiser les facteurs environnementaux, sociaux et économiques.

35:14

**? (Off):** Sur la diapo suivante, en rouge, vous indiquez un désastre. Mais à quoi ce désastre ressemblerait-il dans la réalité? Deux tunnels qui s'effondrent?

**? (Off):** Cela signifie que ce n'est pas faisable à cet endroit.

? (Off): C'est quoi le désastre alors? Que ça s'effondre?

35:42

**KK:** A cause des mouvements, Par l'effet de mouvements indésirables dans les cavernes pour commencer, on aurait des interférences entre les deux cavernes souterraines. Je suppose que ça s'effondrerait. mais l'idée ici, c'est de l'éviter.

## 6 => Petite salle de réunion

42:35

? (Off): Sur le volet retombées économique, en phase de chantier, il va falloir loger et nourrir toutes les personnes qui sont sur le chantier et que ce n'est pas si négligeable que ça.

42:51

**LL:** Attention, parce que ce n'est pas un chantier classique... période construction infrastructures on compte déjà sur 8 ans maintenant, c'est quand même long, peut-être c'est plus long après... et après vous avez des mix, c'est pas juste une construction... vous avez aussi toute l'ingénierie et la haute technologie là-dedans. Et ça, classiquement, c'est pas un travail manuel, c'est des ingénieurs qui viennent et restent peut-être dix-quinze ans. Faut distinguer. Il y a deux classes: les classiques ouvriers, plus court, et l'autre partie qui est beaucoup plus longue.

43:37

**MM:** Moi je crois qu'il faut le voir, ce projet, comme une série d'opportunités, et il faut les identifier.

43:51

**NN:** Il faut aussi dire qu'aujourd'hui, on n'a pas encore une valorisation de la région française autour... Je trouve que c'est un peu dommage. on pourrait imaginer dans la région une cité, euh, de l'Univers, parce que on peut quand même valoriser la nature qui est autour... pourquoi pas aller là... et les technologies qui sont développées au CERN... donc intégrer l'industrie et travailler sur la formation des jeunes, mais aussi des professionnels... Donne-vous ça comme une idée à laquelle réfléchir dans une phase de préparation dans les cinq ans à venir, peut-être il y a quelques projets qui peuvent se créer autour du FCC.

44:34

?: Un bon moyen de le faire accepter localement.

44:36

**OO:** Surtout sur la partie Sud de l'anneau, la partie Haute-Savoie, où certainement il y a des potentialités avec Annecy...

44:43

?: Une Cité de l'Univers, ça peut venir renforcer une stratégie politique...

44:48

?: Je pense que, avant d'avoir ce type de réflexion au moment où on engagera le débat public ... euh... ça ne peut être qu'un élément positif parce que si l'on arrive qu'avec un... euh... une liste de contraintes...

**OO:** Non... il faut vendre...

45:03

?: .. il faut vendre, il faut faire rêver...

45:36

**Texte sur l'image:** Le déplacement des éléments qui composeront la future machine posera problème.

45:50

**Texte sur l'image:** Les camions d'aujourd'hui seront trop petits pour transporter de tels éléments.

46:03

**Texte sur l'image:** On prévoit de fabriquer de plus long camions.

46:12

**Texte sur l'image:** Mais les virages des routes existantes seront trop étroits pour de si longs camions.

46:24

**Texte sur l'image:** Il faudra commencer par construire de nouvelles routes.

## 7 => Comité consultatif international IAC et représentants du CERN

52:20

?: On parlera de l'estimation des coûts en septembre ou... Car pour une machine aussi grande, le coût n'est pas complètement hors de propos.

**AA:** J'irais même au-delà, ce qui nous amène à la question des risques dont on a commencé à discuter mais dont on ne discute plus. A quoi ressemblerait le registre des risques pour le FCC-ee? J'ai entendu hier que le FCC-ee est tellement faisable qu'aucune recherche et développement n'est nécessaire. Encore une fois: on ne devrait pas donner l'impression qu'on peut commencer à construire demain. Il reste des problèmes. Par exemple, peut-on prévoir le coût de fonctionnement du FCC, parce que, s'il faut 5 milliards de dollars par an, l'humanité n'a tout simplement pas le budget.

53:18

**II:** Pour moi, le défi c'est la communication. La communication a destination du grand public ou des politiciens. Ce projet est vraiment spécial dans le sens que l'horizon temporel est extrêmement lointain. Il y a donc des incertitudes que vous n'avez pas dans d'autres projets. D'autre part, les politiciens, le public, ils veulent un chiffre. Combien coûtera la machine si vous la construisez? Comment surmonter cet écart? C'est un gros problème. Peut-être que notre comité contribuera à le résoudre. Personnellement, je ne sais pas comment, c'est difficile.

54:00

**PP:** Quel que soit le message, il faut choisir entre la "mise à niveau rentable" (cost-effective upgrade) et une "nouvelle machine visionnaire". Je ne pense pas qu'on puisse ne pas se positionner à ce sujet. Je peux imaginer aller voir un responsable politique et lui dire: "On a trouvé comment arriver à 100 TeV". Ce n'est pas un nombre magique physiquement parlant, mais c'est un ordre de grandeur supérieur que vous pouvez vendre. Vous pouvez toujours reculer plus tard, lorsqu'ils auront accepté l'idée d'un grand projet. Vous direz "en fait la technologie des aimants nous amène plutôt à 85 TeV" ou un autre nombre... Si on opte pour ce scénario, il nous faut quelque chose de visionnaire qui va bien au-delà de tout ce qu'on avait fait avant.

54:39

**EE:** Mais au stade du CDR, il faut au moins montrer la faisabilité.

54:46

**P:** Je suis d'accord avec vous. Je dirais qu'il faut un énoncé visionnaire. Si vous dite "Notre objectif est de 100 TeV parce que c'est un ordre de grandeur supérieur et il faut toute cette grande physique... qui nécessiterait des aimants de 16 Tesla... on ne les atteindra peut-être pas, mais on fera une merveilleuse physique pour vous si on obtient les budgets. Voilà qui est vendable.

55:09

**HH:** Je voudrais revenir sur le commentaire d'Akira. Il est bon d'avoir un objectif puis, à certaines étapes définies, on pourra juger s'il faut redéfinir un peu l'objectif ou non.

55:25

**EE:** C'est pourquoi je suggère un plan B dans le sens positif; ou une sorte de sécurité au cas nous ne pourrions pas atteindre nos objectifs. Cela resterait un projet très significatif. Même avec un peu moins d'énergie et un pic d'aimant inférieur.

55:44

**QQ:** Proposer un plan B à ce stade, n'est pas une bonne idée. Le responsable politique vous dira "D'accord, je choisis le plan B". Je pense que le côté visionnaire, comme on l'a nommé plus tôt, est important. C'est important pour les jeunes. C'est important parce que ceux qui travaillent en recherche et développement aiment faire des choses visionnaires et pas trop conservatrices.

56:16

**RR:** Il est très difficile d'imaginer ce qui va se passer en 2050 ou 2060. Je dirais que, en 2050-2060, l'intelligence artificielle fera peut-être fonctionner une telle machine et les gens assis ici parleront d'autres choses. Voici ce que j'en pense, mais ça reste entre nous.

**SS:** L'intelligence artificielle donnera aussi les résultats de l'expérience.... (en riant:) On n'aura même plus besoin d'expérience.